

TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Os Sentidos Químicos em Condições de Microgravidade

Pedro Manuel Carvalho Martins

MAIO'2018

TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Os Sentidos Químicos em Condições de Microgravidade

Pedro Manuel Carvalho Martins

Orientado por:

Dr. Marco António Cabrita Simão

Resumo

Os sentidos químicos – paladar e olfato – permitem distinguir os alimentos nutritivos e prazerosos dos indesejáveis. Tendo em conta o papel crescente que as refeições têm na socialização, estas tornam-se muito importantes tanto em ambientes familiares como laborais, sendo assim da maior importância manter estes sentidos intactos.

As viagens espaciais, iniciadas em 1961 pelo russo Yuri Gagarin na missão Vostok I, desde logo puseram em evidência as diversas alterações fisiológicas inerentes às condições de microgravidade. Naquela altura, não se sabia se a ingestão e a absorção de nutrientes eram possíveis num estado de gravidade zero, vindo mais tarde a constatar-se que tal acontecia. As principais queixas dos astronautas no que concerne à alimentação referiam-se ao sabor da comida.

Será abordada a alteração da percepção do sabor da comida no espaço, tendo em conta algumas hipóteses estudadas, desde a translocação de fluidos à influência das radiações UV.

Abstract

Chemical senses - taste and smell - allow us to distinguish nutritious and pleasurable foods from undesirable ones. Given the growing role that meals have in socializing, which is very important in both family and work environments, it is of greater importance to keep these senses intact.

Space travels, begun in 1961 by the Russian Yuri Gagarin, in the Vostok I mission, soon distinguished themselves by the diverse physiological changes inherent to the microgravity conditions. At that time, it was not known whether ingestion and absorption of nutrients were possible in a state of zero gravity, which was found to be so. The main complaints of astronauts regarding food were based on its taste.

The alteration of the taste perception of the food in space will be approached, taking into account some hypotheses studied, from the translocation of fluids to the influence of the UV radiation.

Palavras-chave: Sentidos químicos; paladar; olfato; microgravidade; astronautas.

Key words: Chemical senses; taste; smell; microgravity; astronauts.

O trabalho final exprime a opinião do autor e não da FML.

Índice

Introdução.....	5
Os sentidos químicos – paladar e olfato.....	6
Sentido do paladar.....	6
Sentido do olfato.....	9
Efeitos das forças de aceleração sobre o corpo humano em fisiologia aeroespacial.....	11
Os efeitos da imponderabilidade nos sentidos químicos.....	12
Hipóteses de mecanismos de alterações quimiossensoriais.....	13
Doença do movimento espacial.....	14
A atmosfera da aeronave.....	14
O efeito do stress nos sentidos químicos.....	15
Lesões provocadas pela radiação ao paladar.....	15
Conclusão.....	17
Agradecimentos.....	18
Bibliografia.....	19

Introdução

Exploradores e viajantes ao longo da História tiveram que desenvolver métodos para preservar os alimentos e mantê-los em quantidade suficiente para as suas longas viagens de barco pelos oceanos. Grandes exploradores, como Cristóvão Colombo, Fernão de Magalhães e James Cook levavam consigo alimentos preservados em sal. Mais recentemente, conservas e depois a refrigeração foram soluções encontradas para o problema da conservação de alimentos. No entanto, as viagens espaciais exigiram que novos métodos fossem concebidos para manter alimentos edíveis. Os alimentos levados para as missões espaciais devem ser leves, compactos, saborosos e nutritivos, bem como manter-se desta forma durante longos períodos.

A primeira refeição no espaço foi tomada pelo russo Yuri Gagarin em 1961 durante o primeiro voo espacial tripulado da história, integrado no programa Vostok. Yuri Gagarin comeu três porções de 160g embaladas em tubos, dois dos quais continham puré de carne, contendo o terceiro molho de chocolate. John Glenn foi o primeiro americano a comer no Espaço, a bordo da Friendship 7, em 1962.

Nesta época, não se sabia se a ingestão e a absorção de nutrientes eram possíveis num estado de gravidade zero. O consumo de compota de maçã, embalada num tubo, e a ingestão de comprimidos de D-xilose com água, demonstraram que é possível comer, engolir e digerir comida num ambiente microgravidade¹. Na missão *Mercury* a comida era baseada em rações usadas para o exército, e consistiam em comida tipo puré (como carne e vegetais), empacotada em tubos de alumínio. Glenn e os astronautas que o acompanharam na missão *Mercury*, não tiveram problemas a mastigar, beber, engolir ou a digerir. As queixas baseavam-se sim, no sabor da comida².

Desde os primeiros voos espaciais tripulados, os astronautas relataram que o sabor da comida é diferente em microgravidade². Muitos disseram que a comida perde o sabor e que desejavam comidas mais picantes do que prefeririam na Terra. Não é incomum que os astronautas disfrutem da comida no espaço que não conseguiam tolerar em casa, e vice-versa².

Para missões espaciais mais curtas, refeições variadas e saborosas podem parecer um luxo, mas para longas missões para a Lua e eventualmente para Marte, bem como durante missões de seis meses na Estação Espacial Internacional, estas refeições poderão ser prescritas pelo médico assistente ou por um nutricionista.

Existem poucos dados científicos para suportar as afirmações dos astronautas de que, no espaço, experimentaram mudanças no sabor da comida, isto apesar de uma série de estudos publicados desde a década de 1970 sobre o efeito da microgravidade nos sentidos do paladar e do cheiro³.

Uma das mudanças fisiológicas mais relevantes associadas aos voos espaciais tem que ver com a translocação de fluidos da parte inferior para a parte superior do corpo e que tem por causa da ausência de gravidade³. Isto leva a inchaço da parte superior do corpo, nomeadamente inchaço facial e também cria congestão nasal significativa, e porque o odor é essencial para o sentido do paladar, ocorre uma diminuição na percepção de alguns sabores³.

Assim, serão revistas algumas hipóteses para a alteração da percepção dos sentidos químicos em condições de microgravidade.

Os Sentidos Químicos - Paladar e Olfacto⁴

Os sentidos do paladar e do olfato permitem a distinção dos alimentos nutritivos e prazerosos dos indesejáveis ou ainda dos venenosos⁵, gerando também respostas fisiológicas envolvidas na digestão e no uso dos alimentos. As funções emocionais e comportamentais primitivas do sistema nervoso humano estão fortemente ligadas a estes sentidos⁶.

Sentido do Paladar

O paladar é principalmente função dos botões gustativos presentes na boca⁷, no entanto a experiência do olfato também contribui intensamente para a percepção do sabor dos alimentos⁸. Além disto, a textura do alimento, detetada pelos sensores de tato da boca, e a presença de substâncias no alimento, como a pimenta, como a pimenta, podem alterar a experiência do paladar. A importância deste sentido reside no facto de que ele permite seleccionar substâncias específicas, sobretudo de acordo com o desejo individual e também conforme as necessidades metabólicas dos tecidos corporais.

Sensações primárias do paladar

As identidades das substâncias químicas específicas, que excitam os diferentes recetores gustativos não são completamente conhecidas. De qualquer das formas, alguns

estudos psicofisiológicos e neurofisiológicos⁹ identificaram pelo menos treze recetores químicos possíveis ou prováveis nas células gustativas, que a seguir se indicam: dois recetores para sódio, dois recetores para potássio, um recetor para cloreto, um recetor para adenosina, um recetor para inosina, dois recetores para doce, dois recetores para amargo, um recetor para glutamato e um recetor para o ião de hidrogénio¹⁰.

Para se conseguir uma análise mais prática do paladar, as capacidades dos recetores gustativos mencionados foram agrupadas em cinco categorias gerais chamadas sensações primárias gustativas, sendo elas: azeda, salgada, doce, amarga e *umami*. Apesar de serem apenas cinco as sensações primárias gustativas, um indivíduo pode perceber centenas de diferentes sabores. Supõe-se que estes sejam combinações das sensações primárias, da mesma forma como as cores que vemos são combinação das três cores primárias.

- Sabor azedo – é causado pelos ácidos, ou seja, pela concentração do ião de hidrogénio, e a intensidade da sensação é aproximadamente proporcional ao logaritmo da concentração do ião de hidrogénio, ou seja, quanto mais ácido o alimento, mais intensa se torna a sensação de azedo.
- Sabor salgado – é provocado por sais ionizados, principalmente pela concentração de iões de sódio. Os catiões dos sais, especialmente o sódio, são os principais responsáveis pelo sabor salgado, mas os aniões também contribuem, mesmo que em menor grau.
- Sabor doce – este não é induzido por uma categoria única de substâncias químicas. Alguns tipos de substâncias que provocam este sabor são: açúcares, álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres, glicóis, alguns aminoácidos, algumas proteínas pequenas, ácidos sulfónicos, ácidos halogenados, e sais inorgânicos de chumbo e berílio. A maioria das substâncias que induzem o sabor doce é orgânica¹¹.
- Sabor amargo – tal como o sabor doce, não é induzido por um tipo único de agente químico, e as substâncias que o provocam são também quase exclusivamente substâncias orgânicas. Existem duas classes particulares de substâncias que se destacam como indutoras do sabor amargo: alcaloides e substâncias orgânicas de cadeia longa, que contêm nitrogénio. O sabor amargo, quando ocorre em alta intensidade, faz com que frequentemente a pessoa rejeite o alimento, sendo esta uma função importante desta sensação, porque muitas toxinas letais encontradas

em plantas venenosas são alcaloides, e quase todas elas provocam sabor amargo intenso, seguido pela rejeição do alimento¹¹.

- Sabor *umami* – é uma palavra japonesa (traduzida significa “delicioso”) usada para designar a sensação de sabor prazerosa que é diferente do azedo, salgado, doce e amargo. Este sabor é o predominante nos alimentos que contêm L-glutamato, tais como caldos de carne e queijo amadurecido.

Botão gustativo e a sua função

O botão gustativo é constituído por cerca de 50 células epiteliais modificadas, algumas das quais são células de suporte, denominadas células de sustentação e outras, denominadas células gustativas. Estas são continuamente substituídas pela divisão mitótica das células epiteliais circundantes, de modo que algumas células gustativas são jovens células. A vida útil de cada célula gustativa é de cerca de dez dias em alguns mamíferos^{7,8}, mas este valor é desconhecido para humanos.

As extremidades externas das células gustativas são dispostas em torno de um poro gustativo. A partir da extremidade de cada célula gustativa, várias microvilosidades projetam-se para fora, através do poro gustativo, aproximando-se da cavidade da boca. Estas microvilosidades são a superfície recetora para o sabor.

Especificidade dos botões gustativos para um estímulo de sabor primário

Estudos com microelétrodos colocados em botões gustativos isolados¹² mostram que quando a substância do sabor está em baixa concentração, cada gota de sabor geralmente responde principalmente a um dos cinco estímulos primários de gosto. Mas em alta concentração, a maioria das papilas pode ser excitada por dois ou mais dos principais estímulos gustativos, bem como por alguns outros estímulos de gosto que não se enquadram nas categorias “primárias”.

Geração dos impulsos nervosos pelo botão gustativo

Na primeira aplicação do estímulo gustativo, a taxa de descarga das fibras nervosas dos botões gustativos aumenta para um pico numa pequena fração de segundo, mas nos segundos seguintes adapta-se de volta a um nível mais baixo e estável¹². Assim, começa por ser transmitido um forte sinal imediato, e de seguida um sinal contínuo mais fraco, enquanto o botão gustativo é exposto ao estímulo.

Sentido do Olfato⁴

O olfato é o menos conhecido dos nossos sentidos. Isso é resultado, em parte, do facto de que o sentido do olfato é subjetivo e não pode ser estudado facilmente em animais¹³. Outro problema é que o sentido do olfato é pouco desenvolvido em humanos, se compararmos com outros animais¹³.

Membrana olfativa

A membrana olfativa está na parte superior de cada narina. Medialmente, a membrana olfativa dobra-se para baixo ao longo da superfície do septo superior; lateralmente, dobra-se sobre o corneto superior e mesmo sobre uma pequena porção da superfície superior do corneto médio. Em cada narina, a membrana olfativa tem uma superfície com uma área de cerca de 2,4 centímetros quadrados.

Células olfativas

As células recetoras para a sensação de cheiro são as células olfativas, que são células nervosas bipolares derivadas originalmente do próprio sistema nervoso central. Existem cerca de 100 milhões dessas células no epitélio olfativo intercaladas entre células de sustentação. A extremidade da mucosa da célula olfativa forma um botão do qual 4 a 25 pêlos olfativos (também chamados de cílios olfativos), medindo 0,3 micrómetros de diâmetro e até 200 micrómetros de comprimento, se projetam para o muco que cobre a superfície interna da cavidade nasal. Esses cílios olfativos proeminentes formam um tapete denso no muco, e são esses cílios que reagem aos odores no ar e estimulam as células olfativas. Entre as células olfativas na membrana olfativa existem muitas glândulas Bowman que secretam muco na superfície da membrana olfativa.

Mecanismo de excitação das células olfativas

A porção de cada célula olfativa que responde aos estímulos químicos olfativos é o cílio olfativo. A substância aromática, ao entrar em contato com a superfície da membrana olfativa, primeiro difunde-se no muco que cobre os cílios. De seguida, liga-se às proteínas recetoras na membrana de cada cílio. Cada proteína recetora é uma molécula longa que se atravessa a membrana cerca de sete vezes, dobrando para dentro e para fora. A molécula do aroma liga-se à porção extracelular da proteína recetora. A porção intracelular da proteína dobrável, no entanto, está acoplada a uma proteína G, ela própria uma combinação de três subunidades. Na excitação da proteína recetora, uma subunidade

alfa separa-se da proteína G e ativa imediatamente a adenilil ciclase, que por sua vez, converte muitas moléculas de adenosina trifosfato intracelular em adenosina monofosfato cíclico (AMPc). Finalmente, este AMPc ativa outra proteína de membrana próxima, o canal iônico de sódio, que se abre e permite que um grande número de íons de sódio atravesse a membrana em direção ao citoplasma da célula recetora. Os íons de sódio aumentam o potencial elétrico intracelular, tornando-o mais positivo, excitando o neurónio olfativo e transmitindo potenciais de ação para o sistema nervoso central por meio do nervo olfativo. A importância deste mecanismo de ativação dos nervos olfativo é que ele amplifica muito o efeito excitativo, mesmo de um aroma mais fraco.

Para resumir: (1) A ativação da proteína recetora pela substância aromatizante ativa o complexo da proteína G. (2) Isto, por sua vez, ativa múltiplas moléculas de adenilil ciclase dentro da membrana celular olfativa. (3) Isso causa a formação de muitas mais moléculas de AMPc. (4) Finalmente, o AMPc abre ainda muitas vezes mais canais de íons de sódio. Portanto, mesmo a concentração mais minuciosa de um aromatizante específico inicia um efeito em cascata que abre um número extremamente grande de canais de sódio. Isso explica a sensibilidade requintada dos neurónios olfativos até mesmo na menor quantidade de aromatizantes.

Sensações primárias do cheiro

Nos últimos anos várias pistas sugeriram a existência de pelo menos 100 sensações primárias de cheiro - um contraste marcado com as três cores primárias detetadas pelos olhos e apenas cinco sensações primárias do paladar. Alguns estudos sugerem que pode haver até 1000 tipos diferentes de recetores de odor¹³.

*Natureza afetiva do cheiro*¹⁴

O cheiro, ainda mais do que o sabor, tem a qualidade afetiva de prazer ou desagrado. Por isso, o cheiro é provavelmente ainda mais importante do que o sabor para a seleção de alimentos. Na verdade, uma pessoa que já comeu comida de que não gostou, fica muitas vezes nauseada pelo cheiro da mesma comida numa segunda ocasião. Por outro lado, o perfume da qualidade certa pode ser um poderoso estimulante das emoções humanas.

Efeitos das forças de aceleração sobre o corpo humano em fisiologia aeroespacial¹⁵

Devido às rápidas alterações da velocidade e da direção do movimento em naves espaciais, existem diversos tipos de forças de aceleração que têm efeito sobre o corpo durante o voo: no início do voo ocorre aceleração linear simples; no término deste, desaceleração; e cada vez que a nave faz uma curva, aceleração centrífuga.

Forças de aceleração em viagem espacial

A nave espacial não é capaz de fazer curvas rápidas; deste modo, a aceleração centrífuga é de pequena importância, exceto quando a nave espacial entra em circuitos anormais. De qualquer das formas, a aceleração no lançamento e a desaceleração na aterragem podem ser violentas; ambas são tipos de acelerações lineares positiva e negativa.

Imponderabilidade no Espaço

A pessoa em satélite em órbita ou em aeronave sem propulsor experimenta *imponderabilidade* ou estado de força G próximo do zero, que também pode ser chamado de microgravidade, ou seja, a pessoa não é puxada para o fundo, lados ou topo da aeronave, simplesmente flutua dentro das suas câmaras. A razão para tal acontecer não é a falta de gravidade para puxar o corpo, porque a gravidade de qualquer corpo celeste nas proximidades ainda está ativa. Entretanto, a gravidade atua sobre a aeronave e a pessoa ao mesmo tempo, de modo que ambas são tracionadas exatamente pelas mesmas forças de aceleração e na mesma direção. Por este motivo, a pessoa não é atraída para qualquer parede da aeronave.

Problemas Fisiológicos da Imponderabilidade

Os problemas fisiológicos da imponderabilidade não provaram ter grande importância, caso o período da mesma não seja longo demais.

A maioria dos problemas que ocorrem está relacionada com três efeitos da imponderabilidade: (1) tonturas e vômitos, durante os primeiros dias de viagem¹⁶, (2) translocação de líquidos dentro do corpo, em virtude da falta de gravidade¹⁷ e (3) atividade física diminuída, porque nenhuma contração muscular é requerida para contrabalançar a força da gravidade¹⁸. Cerca de metade dos astronautas sente tonturas e náuseas e por vezes vômitos durante os primeiros dois a cinco dias de viagem no espaço. Isso resultará, provavelmente, de um padrão atípico de sinais de movimento que chegam

aos centros de equilíbrio do encéfalo e, ao mesmo tempo, falta de sinais gravitacionais. Por consequência, os efeitos observados da permanência prolongada no espaço são (1) diminuição do volume sanguíneo¹⁹, (2) diminuição da massa de hemácias¹⁹, (3) diminuição da força e da capacidade de trabalho muscular¹⁸, (4) diminuição do débito cardíaco máximo¹⁹ e (5) perda de cálcio e fosfato dos ossos, bem como perda de massa óssea²⁰. De qualquer das formas, a maioria destes mesmos efeitos ocorre em pessoas que permanecem acamadas durante um longo período de tempo²¹. É por este motivo que os astronautas realizam programas de exercício durante missões espaciais prolongadas.

Os efeitos da imponderabilidade nos sentidos químicos³

Voar no espaço tem sido um sonho para todos os seres humanos pelo mundo. Atualmente, estar no espaço tornou-se um tipo de tarefa para um certo grupo privilegiado da população chamada astronautas ou cosmonautas. Embora o fascínio por estar no espaço possa preencher os astronautas com um sentimento de realização, muitos outros efeitos fisiológicos e psicológicos entram na equação. Os efeitos fisiológicos são de natureza bastante variada e incluem mudanças nos requisitos de energia, na composição corporal, na homeostasia, necessidade de proteínas, metabolismo do cálcio e hematopoiese²². A adaptação fisiológica à microgravidade pode resultar em perda de células sanguíneas da série vermelha, perda óssea e mudanças na motilidade gastrointestinal²³. Por outro lado, outras características do ambiente no espaço podem levar a alterações na percepção quimiossensorial dos alimentos. De especial interesse para a análise sensorial, é o efeito da microgravidade nos sentidos químicos. Esta área foi claramente pouco estudada em missões espaciais, provavelmente devido à falta de percepção do seu benefício terrestre. A escassa literatura que existe sobre pesquisa quimiossensorial em condições de microgravidade às vezes é contraditória e abre uma janela para a especulação.

Relatórios subjetivos tanto de astronautas soviéticos como americanos relatam alguma atenuação da acuidade do sabor²⁴ e percepção de um sabor desagradável na boca²⁵. Um estudo russo sobre a mudança na percepção do sabor de astronautas²⁶ recomendou adicionar especiarias e condimentos diferentes a produtos alimentares para melhorar o apetite. Numa nota, um cosmonauta russo na missão Vostok VI relatou um menor apetite por doces e um desejo de sabores de comida picante²⁷.

As alterações fisiológicas associadas com microgravidade e os sentidos químicos não estão expressos explicitamente na literatura, mas é possível tentar relacionar mudanças fisiológicas com os sentidos químicos, e tirar conclusões a partir daí. Do ponto de vista fisiológico, a característica principal do voo espacial é a experiência da microgravidade, o que provoca uma mudança de fluidos corporais da parte inferior do corpo para a parte superior. Essas mudanças são substanciais, levando a uma redução do volume das pernas de 1L por perna dentro de 6 a 10 horas de alcance órbita²⁸. De seguida, há uma diminuição do volume de plasma e sede.

Também relevante para os sentidos químicos é a congestão nasal, que resulta num menor fluxo de ar, devido ao ingurgitamento da mucosa não-olfativa e numa redução do componente olfativo no sabor de alimentos, semelhante ao sentido numa constipação ou rinite alérgica²⁹. Nas viagens espaciais, não só o cheiro dos alimentos é parcialmente perdido, mas parte ou a totalidade da estimulação retronasal também fica perdida. Este último efeito pode ser muito importante para a percepção de algumas qualidades sensoriais de certos alimentos como sumos porque a percepção da doçura é aumentada pela percepção retronasal do sabor frutado. Os astronautas frequentemente queixam-se de que os alimentos na aeronave ficam sem sabor, como também de uma aversão pelo café em órbita³⁰. Como seria de esperar, o café é um dos alimentos que depende muito da percepção dos seus componentes de sabor, tendo mais de 500 produtos químicos responsáveis pelo seu aroma. No caso da falta da contribuição dos aromatizantes químicos para o sabor, o café passa a ser apenas uma solução amarga de cor escura.

Hipóteses de mecanismos de alterações quimiossensoriais

A microgravidade e as viagens espaciais são caracterizadas por parâmetros e ambiente exclusivos que também podem contribuir para alterações no sabor e cheiro. Os fenómenos específicos de microgravidade não foram, na maioria dos casos, cuidadosamente pesquisados, pelo menos no contexto da microgravidade ou pesquisa espacial, e assim eles são apresentados como hipóteses para alterações quimiossensoriais nas viagens espaciais que carecem de mais investigação. Alguns dos mecanismos possíveis são revistos abaixo.

Doença do Movimento Espacial

A doença do movimento espacial, às vezes chamada *síndrome de adaptação espacial*, ocorre em muitos astronautas. Os seus sintomas major incluem náuseas, mal-estar geral, palidez, sudorese e vômitos³¹. A doença do espaço é uma manifestação das tentativas do corpo tentar adaptar as suas características sensitivas e motoras para o novo meio ambiente, sem gravidade e, portanto, sem peso. É bem possível que doença do espaço possa causar uma mudança na percepção do sabor ou cheiro nos astronautas semelhante à mudança na percepção do sabor ou cheiro que ocorre como resultado de enjoos de movimentos terrestres ou marítimos³². Quando presente, esta geralmente dura alguns dias a uma semana.

A atmosfera da aeronave

O ambiente físico da microgravidade em várias missões espaciais anteriores (Apollo, Gemini, Skylab) foi caracterizado por uma baixa pressão atmosférica³³, tipicamente com uma maior concentração de oxigénio do que a atmosfera terrestre. O ambiente da aeronave em missões espaciais pode afetar a estimulação dos sentidos químicos e consequentemente os limiares dos astronautas. Singh e outros (1997) examinaram o efeito de grandes altitudes (3500 metros acima do nível médio das águas do mar) nos limiares de sabor de glicose, cloreto de sódio, quinina e ácido cítrico³⁴, encontrando um aumento nos limiares de sabor de glicose e cloreto de sódio com diminuição concomitante dos limiares de quinina e ácido cítrico. Maga e Lorenz (1972) realizaram um estudo³⁵ semelhante numa câmara especial equipada com controlo de pressão, temperatura e humidade. Usando esta câmara, os autores foram capazes de simular altitudes de 0 metros, 1525 metros e 3050 metros acima do nível médio das águas do mar. Eles avaliaram os limiares de sacarose, cloreto de sódio, ácido cítrico e cafeína. Quando os quatro sabores foram considerados como um só, houve um aumento estatisticamente significativo no limiar do sabor para a altitude de 1525 metros vs. nível médio das águas do mar. No entanto, não surgiu uma diferença significativa quando comparadas as altitudes de 1525 metros vs 3050 metros. De uma perspectiva quimiossensorial, é questionável se é uma boa ideia considerar os quatro sabores como uma única unidade. Os autores sugeriram que a sensibilidade ao sabor diminui com o aumento altitude. Se a falta de oxigénio é o principal determinante para essa mudança de

limiar, então estes estudos não podem prever precisamente o que acontece num ambiente de microgravidade.

Efeitos do stress nos sentidos químicos

Os astronautas geralmente experimentam *stress* tanto físico como mental em missões espaciais. É necessário mencionar aqui que “*stress*” nesta secção se refere a *stress* físico e/ ou mental resultante apenas de sobrestimulação e não subestimulação. Nakagawa e outros (1996) estudaram o efeito mental e físico do *stress* na perceção do sabor³⁶. *Stress* mental foi induzido pela realização de uma cansativa pesquisa de letras e *stress* físico foi induzido por realizar um exercício usando um ergómetro. Foram medidas as intensidades do sabor de soluções de sacarose, sulfato de quinina e ácido conforme as tarefas iam sendo executadas. A tarefa mental resultou numa redução da duração do pós-sabor para todos os sabores. Os autores assumiram que esse fenómeno provavelmente seria devido a algum tipo de inibição central de perceção do sabor. A tarefa física resultou numa perceção mais rápida do sabor amargo. Os autores ligaram este resultado a um aumento da capacidade de memória da saliva aquando da realização de exercícios físicos. Por isso, o *stress* mental parece ter um efeito mais forte na perceção do sabor do que o *stress* físico puro. Parece haver uma ligação entre *stress*, personalidade e a medição quimiossensorial. No entanto, não está claro quanto esses fatores poderão desempenhar um papel na viagem espacial.

Lesões provocadas pela radiação ao paladar

Outro efeito incomum da microgravidade e as viagens espaciais é o nível de radiação ao qual os astronautas são sujeitos. Os efeitos da radiação sobre os recetores de sabor e/ ou cheiro dos astronautas podem ser estimados com base em estudos de alterações de acuidade em pacientes submetidos a radioterapia para cancro da cavidade oral ou pescoço. Tanigawa (1965) estudou³⁷ a dose de a radiação necessária para induzir ferimentos no sabor nos quatro sabores básicos: soluções de sacarose, ácido acético, cloreto de sódio e cloridrato de quinina. Os indivíduos selecionados (n=30) eram indivíduos com sensibilidade normal ao sabor que estavam a ser tratados com radioterapia a cancros da cabeça e pescoço. A fonte de radiação foi telecobalto (60Co) e foi aplicada diariamente na taxa de 150 r/d. A sensibilidade ao sabor na maioria dos pacientes foi

afetada após a exposição a 1000 r a 4000 r (8.3 a 33.2 Gy). Os sabores doce e amargo foram mais afetados do que os sabores salgado e azedo, e o sabor azedo foi o mais resistente à alteração. Nenhuma lesão foi observada abaixo do nível de 800r (6.64 Gy) e o desaparecimento do sabor ocorreu completamente em doses superiores a 3000r (24,9 Gy), voltando à normalidade dentro de 30 a 40 dias na maioria dos pacientes. Os resultados de Tanigawa (1965)³⁷ foram posteriormente confirmados por estudos mais recentes sobre o sabor^{38,39,40} e o cheiro⁴¹. Em todos esses estudos, o nível de radiação necessário para aumentar os limiares quimiossensoriais ou para induzir perda de sabor foi superior a 800 r (6,64 Gy), o nível indicado no estudo de Tanigawa (1965)³⁷. Os astronautas normalmente recebem doses de radiação muito mais baixas do que os indivíduos desses estudos. A dose média de pele para astronautas Skylab 3 (segunda missão tripulada para a primeira estação espacial americana, Skylab, e durou 59 dias, 11 horas e 9 minutos) foi de 17,85 rem; a exposição de Skylab 4 (terceira missão tripulada da Skylab, colocou a terceira e última tripulação a bordo da primeira estação espacial americana, durou 84 dias, uma hora e 16 minutos) foi maior^{33,42}. As *guidelines* da NASA limitam a exposição: (medição a 5 cm de profundidade no tecido) 25 rem/30 dias de exposição, 50 rem anualmente e um limite de carreira entre 100 e 400 rem dependendo do sexo e da idade^{43,44}. Apesar de ser improvável que exposição à radiação tenha afetado o sabor e o cheiro em missões de transporte anteriores, a radiação e seus efeitos sensoriais continuam a ser preocupantes para futuras missões de Marte que envolvem um tempo de viagem espacial muito mais longo⁴⁴.

Conclusão

O primeiro voo espacial tripulado foi lançado pela União Soviética em 12 de abril de 1961 como parte do programa Vostok, com o astronauta Yuri Gagarin a bordo. O voo espacial humano mais longo é o de Valeri Polyakov, que deixou a Terra em 8 de janeiro de 1994 e não voltou até 22 de março de 1995 (um total de 437 dias 17h 58min 16s). Sergei Krikalyov gastou mais tempo do que qualquer pessoa no espaço - 803 dias, 9 horas e 39 minutos no total. O período mais longo de presença humana contínua no espaço é de 17 anos e 121 dias na Estação Espacial Internacional. Com isto, podemos verificar que a presença humana fora da Terra durante longos períodos de tempo será cada vez mais uma constante. Entre as várias dúvidas e desafios inerentes a essa enorme barreira ultrapassada, que era saber se era possível haver vida humana fora da Terra, encontrava-se a alimentação, essencial à vida, e portanto, essencial à durabilidade das missões tripuladas que hoje existem⁴⁵. A descoberta de que a ingestão e a absorção de nutrientes são possíveis num estado de gravidade zero, foi uma das portas que se abriu para que a exploração extraterrestre fosse possível.

As viagens aeroespaciais estão limitadas a um lote muito restrito de pessoas, que estando longe das suas famílias e entes queridos, se vêm privados das relações familiares. As refeições desde cedo se tornaram formas de socialização e comer sozinho pode ser alienante⁴⁶. A mesa das refeições pode atuar como um uniformizador, um lugar de comunidade. Deste modo, os astronautas têm nas refeições um dos poucos tempos de convívio da exigente tarefa que é explorar o Universo. A forma como a comida é percebida, através dos sentidos químicos, pode tornar a refeição num momento prazeroso ou, pelo contrário, pode destruí-lo.

O astronauta Scott Parazynski - um médico e veterano astronauta de cinco missões aeroespaciais que estudou a translocação de fluidos durante o voo espacial, subscreve a teoria da congestão nasal. Quanto à sua própria experiência, Parazynski, que admitiu não ser fã de *cocktail* de camarão na Terra, referiu que em órbita era das suas coisas favoritas. E não está sozinho - é um dos favoritos entre os astronautas, principalmente por causa do molho apimentado¹.

Em suma, a escassa literatura que existe sobre pesquisa quimiossensorial em condições de microgravidade às vezes é contraditória e abre uma janela para a especulação, assim os possíveis mecanismos foram apresentados como hipóteses para alterações quimiossensoriais nas viagens espaciais, que carecem de mais investigação.

Agradecimentos

Aos meus pais, Alice e Rogério, e irmão André.

À Carolina.

Aos meus amigos e companheiros de viagem.

Aos meus amigos de sempre.

Ao Dr. Marco Simão.

Ao Prof. Doutor Óscar Dias.

Bibliografia

1. Bingham AF, Birch GG, De Graaf C, Behan JM, Perring KD. 1990. Sensory studies with sucrose maltol mixtures. *Chemical Senses* 15(4):447-456.
2. Romanoff, Jim. 2009. When it comes to living in space, it's a matter of taste. *Scientific American*. Scientific American, a division of Nature America, Inc.
3. Olabi, A.a., et al. "The Effect of Microgravity and Space Flight on the Chemical Senses." *Journal of Food Science*, vol. 67, no. 2, 2002, pp. 468-478.
4. Hall, John Edward; Guyton, Arthur C. "The Chemical Senses—Taste and Smell." *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, Elsevier, 2016, pp. 645–652.
5. Bermudez-Rattoni F: Molecular mechanisms of taste-recognition memory, *Nat Rev Neurosci* 5:209, 2004.
6. Smith DV, Margolskee RF: Making sense of taste, *Sci Am* 284:32, 2001.
7. Chandrashekar J, Hoon MA, Ryba NJ, et al: The receptors and cells for mammalian taste, *Nature* 444:288, 2006.
8. Keller A, Vosshall LB: Better smelling through genetics: mammalian odor perception, *Curr Opin Neurobiol* 18:364, 2008.
9. Frank ME, Smith DV. 1991. Electrogustometry: A simple way to test taste. In: Getchell TV and others, editors. *Smell and Taste in Health and Disease*. New York: Raven Press. p 503-514.
10. Pfaffmann C, Pritchard T. 1980. Ion specificity of "electric taste." In: Van Der Starre H, editor. *Olfaction and taste*. Volume 7. London: IRL Press. p175-178.
11. Margolskee RF: Molecular mechanisms of bitter and sweet taste transduction, *J Biol Chem* 277:1, 2002.
12. Roper SD: Signal transduction and information processing in mammalian taste buds, *Pflugers Arch* 454:759, 2007.
13. Nei M, Niimura Y, Nozawa M: The evolution of animal chemosensory receptor gene repertoires: roles of chance and necessity, *Nat Rev Genet* 9:951, 2008.
14. Andrykowski, MA, Otis ML. 1990. Development of learned food aversions in humans: Investigation in a "natural laboratory" of cancer chemotherapy. *Appetite* 14(2):145-158.
15. Hall, John Edward; Guyton, Arthur C. "Aviation, High-Altitude, and Space Physiology." *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, Elsevier, 2016, pp. 527–534.
16. Basnyat B, Murdoch DR: High-altitude illness, *Lancet* 361:1967, 2003. Convertino VA: Mechanisms of microgravity induced orthostatic intolerance: implications for effective countermeasures, *J Gravit Physiol* 9:1, 2002.
17. Hargens AR. 1983. Fluid shift in vascular and extravascular spaces during and after simulated weightlessness. *Med Sci Sports Exerc* 15:421-427.
18. Adams GR, Caiozzo VJ, Baldwin KM: Skeletal muscle unweighting: spaceflight and ground-based models, *J Appl Physiol* 95:2185, 2003.

19. Diedrich A, Paranjape SY, Robertson D: Plasma and blood volume in space, *Am J Med Sci* 334:80, 2007.
20. Smith SM, Heer M: Calcium and bone metabolism during space flight, *Nutrition* 18:849, 2002.
21. LeBlanc AD, Spector ER, Evans HJ, et al: Skeletal responses to space flight and the bed rest analog: a review, *J Musculoskelet Neuronal Interact* 7:33, 2007.
22. Lane HW, Smith SM. 1999. Nutrition in space. In: Shils ME and others, editors. *Modern Nutrition in Health and Disease*. 9th ed. Baltimore: Williams and Wilkins. P 783-788.
23. Smith SM, Davis-Street J, Rice B, Lane HW. 1997. Nutrition in space. *Nutrition Today* 32(1):6-10.
24. Rambaut PC, Smith MC Jr., Leach CS, Whedon GD, Reid J. 1977. Nutrition and responses to zero gravity. *Federation Proceedings* 36:1678-1682.
25. Baranski S, Kubickzowa J, Piorko A, Skibniewski F, Bryanov I, Milova EP, Nefedova MV, Yakovleva IJ. 1983. Electrogustometric investigations during manned space flight. *Aviat Space Environ Med* 54(1):1-5.
26. Popov I. 1981. Food and Nutrition for long missions in space. *USSR Report: Space 13* (October 28):40-45. Translated into English from *Aviatsiya I Kosmonavtika* 1:42-43.
27. Oberg J. 1981. *Red Star in Orbit*. New York: Random House Inc. 272 p.
28. Leach CS, Alfrey CP, Suki WN, Leonard JI, Rambaut PC, Daniel-Inners L, Smith SM, Lane HW, Krauhs JM. 1996. Regulation of body fluid compartments during short-term spaceflight. *J Applied Physiology* 81(1):105-116.
29. Akerlund A, Bende M, Murphy C. 1995. Olfactory threshold and nasal mucosal changes in experimentally induced common cold. *Acta Otolaryngol* 115:88-92.
30. Marshburn T. 1997. In: *Nutrition and Food Concerns of Long Term Space Travel*. Conference by NASA and NJ- NSCORT. October 20-21, Houston, Texas.
31. Hu S, Willoughby LM, Lagomarsino JJ, Jaeger HA. 1996. Optokinetic induced taste aversions correlate with over-all symptoms of motion sickness in humans. *Percept and Mot Skills* 82:859-864.
32. Kekhayov AN. 1974. Variation of the taste perception in pilots. *Westnik Otorinolaringologii* 2:47-50.
33. Nicogossian AE, Parker JF Jr., editors. 1982. *Space Physiology and Medicine*. Washington, D.C.: NASA Scientific and Technical Information Branch, NASA SP-447. 324 p.
34. Singh SB, Sharma A, Yadav DK, Verma SS, Srivastava DN, Sharma KN, Selvamurthy W. 1997a. High altitude effects on human taste intensity and hedonics. *Aviat Space Environ Med* 68(12):1123-1128.
35. Maga JA, Lorenz K. 1972. Effect of altitude on taste thresholds. *Perceptual and Motor skills* 34(2):667- 670.
36. Nakagawa M, Mizuma K, Takako I. 1996. Changes in taste perception following mental or physical stress. *Chemical Senses* 21(2):195-200.

37. Tanigawa K. 1965. Clinical and experimental studies on radiation-injury to taste. NASA Technical Report, NSJ-TR-32. Translated into English from Nipp Act Radiol 1963; 23(6):704-712.
38. Mossman KL. 1983. Quantitative radiation dose-response relationships for normal tissues in man. II. Response of the salivary glands during radiotherapy. Radiation Research 95(2):392-398.
39. Mossman KL. 1986. Gustatory tissue injury in man: radiation dose response relationships and mechanisms of taste loss. British J Cancer 53(Supplement 7):9-11.
40. Sato K, Kamata R. 1984. Quantitative examination of taste deficiency due to radiation therapy. Radiation Medicine 2(1):61-70.
41. Ophir D, Guterman A, Gross-Isseroff R. 1988. Changes in Smell Acuity induced by radiation exposure of the olfactory mucosa. Archives of Otolaryngology-Head and Neck Surgery 114(8):853-855.
42. Pence BC, Yang TC. 2000. Antioxidants: Radiation and stress. In: Lane HW, Schoeller DA, editors. Nutrition in Spaceflight and Weightlessness Models. Boca Raton, FL, CRC Press. p 233-251.
43. Bailey VB, Hoffman RA, English RA. 1977. Radiological protection and Medical Dosimetry for the Skylab Crewmen. In: Jonhston RS, Dietlin LF, editors. Biomedical Results from Skylab. Washington, D.C.: Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration, NASA SP-377. p 64-69.
44. Simonsen LC, Nealy JE, Townsend LW, Wilson JW. 1990. Radiation exposure for manned Mars surface missions. NASA Technical Paper Series (March), NASATP-2979.
45. Berry CA. 1973. View of human problems to be addressed for long-duration space flights. Aerospace Medicine 44(10):1136-1146.
46. Redd M, and JM de Castro. 1992. Social facilitation of eating: effects of social instruction on food intake. Physiology and Behavior 52(4):749-754.